

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-299768

(43)Date of publication of application : 11.10.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/343
H01L 21/205

(21)Application number : 2001-098653

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 30.03.2001

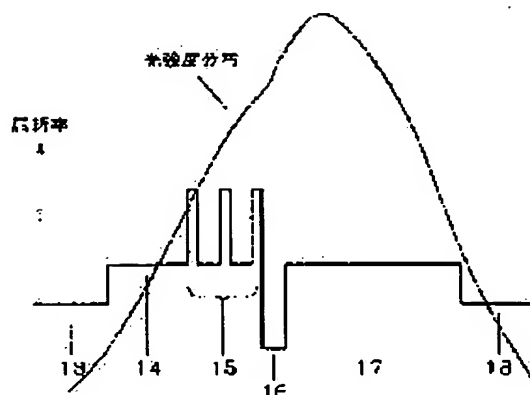
(72)Inventor : HASEGAWA YOSHITERU
OTSUKA NOBUYUKI

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light-emitting device, which has full reliability in practical use, when outputting a high light output of GaN-based blue-violet laser.

SOLUTION: In the semiconductor light-emitting device, the position of the active layer is made different from the position which providing maximal light intensity distribution. As a result, since the maximal position of the light intensity distribution is shifted from that of the active layer, optical deterioration of the active layer can be suppressed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-299768

(P2002-299768A)

(43) 公開日 平成14年10月11日 (2002. 10. 11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
H 0 1 S 5/343	6 1 0	H 0 1 S 5/343	6 1 0 5 F 0 4 5
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-98653(P2001-98653)

(22) 出願日 平成13年3月30日 (2001. 3. 30)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 長谷川 義晃

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 大塚 信之

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 100097445

弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

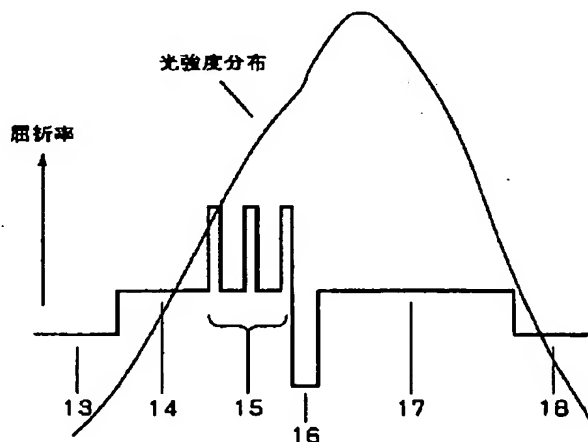
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、GaN系青紫色レーザの高光出力時の信頼性を実用に耐えうる十分なものにすることを目的とする。

【解決手段】 本発明に係る半導体発光装置は、活性層の位置と光強度分布が最大となる位置が異なることを特徴とする。このことにより、光強度分布の最大位置が活性層からはずれるため、活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 In原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体を活性層とする半導体発光装置であって、光を発する前記活性層の位置と光強度分布が最大となる位置が異なることを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体で構成される半導体発光装置。

【請求項2】 活性層となるIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体の上および下に前記In原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体よりも小さな屈折率を有する窒化物系III-V族化合物半導体を光ガイド層として積層し、この光ガイド層の膜厚が互いに異なることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光装置。

【請求項3】 活性層となるIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体の上および下に前記In原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体よりも小さな屈折率を有する窒化物系III-V族化合物半導体を光ガイド層として積層し、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層の膜厚が他方の光ガイド層よりも厚いことを特徴とする請求項2に記載の半導体発光装置。

【請求項4】 活性層となるIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体の上および下に前記In原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体よりも小さな屈折率を有する窒化物系III-V族化合物半導体を光ガイド層として積層し、この光ガイド層の屈折率が互いに異なることを特徴とする請求項2に記載の半導体発光装置。

【請求項5】 活性層となるIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体の上および下に前記In原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体よりも小さな屈折率を有する窒化物系III-V族化合物半導体を光ガイド層として積層し、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層の屈折率が他方の光ガイド層よりも高いことを特徴とする請求項4に記載の半導体発光装置。

【請求項6】 半導体発光装置を積層する基板に近い方の光ガイド層が少なくともAl原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、他方の光ガイド層よりも屈折率が低いことを特徴とする請求項5に記載の半導体発光装置。

【請求項7】 半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、他方の光ガイド層よりも屈折率が高いことを特徴とする請求項5に記載の半導体発光装置。

【請求項8】 半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、且つそのIn組成が活性層に含まれるIn組成よりも少ないことを特徴とする請求項7に記載の半導体発光装置。

【請求項9】 半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、且つInGaN薄膜とGaN薄膜の超格子構造となっていることを特徴とする請求項7または8に記載の半導体発光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光装置に関し、青紫色の短波長領域の発光素子に用いる窒化物系III-V族化合物半導体の発光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、次世代の高密度光ディスク用光源として青紫色の光を発するレーザダイオードに対する要望が高まり、特に、青紫色の短波長領域で動作可能な窒化ガリウム（GaN）系のIII-V族化合物半導体発光素子の研究開発が盛んに行われている。特に、書き換え可能な高密度光ディスクを満足させるためには、レーザの高光出力化が重要となるため、高光出力・長寿命GaN系レーザを実現する必要がある。

【0003】一般的に、この発光素子の活性層にはInGaInに代表されるようなInを含む窒化物系III-V族化合物半導体が用いられている。しかしながら、このInGaIn系半導体はIn組成が不均一になりやすく組成揺らぎが大きいことが知られている。

【0004】InGaInのIn組成不均一性について、第1の論文に「Applied Physics Letters, Vol.69 (1996) pp.2701-2703」がある。この論文では、GaNとInNの格子定数が大きく異なるため、InGaIn結晶を成長すると相分離が自然に発生し、均一なIn組成を有するInGaIn結晶が得にくいことを理論的に示している。また、InGaIn活性層のIn組成不均一（相分離）がGaN系レーザの特性に及ぼす影響について、第2の論文に「Applied Physics Letters, Vol.76 (2000) pp.22-24」がある。この論文では、InGaIn活性層のIn組成が大きな青色レーザを試作した結果、In組成が大きいために相分離が顕著になり活性層の結晶性が低下し、動作電流が増加したことを示している。

【0005】次に、InGaIn活性層の光学的劣化に関して、第3の論文に「Applied Physics Letters, Vol.72 (1998) pp.3267-3269」がある。この論文では、GaN系レーザのInGaIn活性層が電流注入ではなく光励起で劣化することを示している。さらに、InGaInを活性層とするGaN系レーザの劣化機構として、第4の論文に「Applied Physics Letters, Vol.77 (2000) pp.1931-1933」がある。この論文では、レーザの劣化機構として熱的劣化以外に光出力に起因する劣化が存在することを示している。

【0006】以上のことを考慮すると、InGaIn活性層のIn組成が不均一であるために、レーザ発振に寄与するエネルギー準位（In組成）よりも（In組成が大き

く)低いエネルギー準位が必ず存在し、レーザ動作中はその低いエネルギー準位は光の吸収媒体になっている可能性がある。レーザの光出力が高くなると、この光の吸収領域では局所的発熱が大きくなり、温度が上がってバンドギャップが縮小する。その結果、更に光の吸収が大きくなって温度が上昇するという正帰還がかかり、あたかも従来の砒化ガリウム(GaAs)系半導体レーザの端面劣化で問題となったCOD(Catastrophic Optical Damage)のような光学損傷がInGaN活性層で発生すると推測される。このGaN系レーザ活性層内の光吸収に関して、実証例として第5の論文に「Journal of Materials Research, Vol.14 (1999) pp.2716-2731」があり、レーザを変調動作させると自己パルス化が発生し、In組成の不均一なInGaN活性層自身が実際に過飽和吸収体として作用していることを示している。

【0007】したがって、GaN系レーザにおいて高光出力時の長寿命化を図るには、動作電流を低減する意味からもInGaN活性層の相分離を抑制しIn組成を均一化すればよいことになるが、第1の論文から明らかなように、この系では結晶成長中に相分離が自然に発生するため、In組成の不均一性はある程度低減できるものの、完全に均一化することは非常に困難である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明は、GaN系青紫色レーザの高光出力時の信頼性を実用に耐えうる十分なものにすることを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係る第1の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、活性層の位置と光強度分布が最大となる位置が異なることを特徴とする。

【0010】第1の半導体発光装置によると、光強度分布の最大位置が活性層からはずれるため、活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0011】第2の半導体発光装置によると、光ガイド層の膜厚が互いに異なることにより、光強度分布の最大位置が活性層からはずれるため、活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0012】本発明に係る第3の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層の膜厚が他方の光ガイド層よりも厚いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0013】第4の半導体発光装置によると、光ガイド層の屈折率が互いに異なることにより、光強度分布の最大位置が活性層からはずれるため、活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0014】本発明に係る第5の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層の屈折率が他方の光ガイド層より

も高いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0015】第6の半導体発光装置によると、前記第5の半導体発光装置において、半導体発光装置を積層する基板に近い方の光ガイド層が少なくともAl原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、他方の光ガイド層よりも屈折率が低いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0016】本発明に係る第7の半導体発光装置によると、前記第5の半導体発光装置において、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、他方の光ガイド層よりも屈折率が高いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0017】第8の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、前記第7の半導体製造方法において、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、且つそのIn組成が活性層に含まれるIn組成よりも少ないことを特徴とする。この場合、活性層から放射されたレーザ光は前記光ガイド層で吸収されることなく、光強度分布の最大位置が前記光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0018】本発明に係る第9の半導体発光装置によると、前記第7および第8の半導体発光装置において、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、且つInGaN薄膜とGaN薄膜の超格子構造となっていることを特徴とする。この場合、前記光ガイド層でピット発生による光導波の散乱やMgの異常拡散が抑制され、しきい値電流の増加が抑制される。また、光強度分布の最大位置が前記光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0019】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態)本発明に係る第1の実施形態は、GaN系レーザ素子において、高光出力動作時に実用に耐えうる信頼性を実現することを目的とする。

【0020】以下、本発明の第1の実施形態による半導体発光装置の詳細について図面を参照しながら説明する。

【0021】図1(a)～(i)は本実施形態に係る半導体発光装置の製造方法の工程順の断面構成を示してい

る。まず、2インチサイズのサファイアよりなる基板11の表面を酸溶液を用いて洗浄を行なう。その後、洗浄した基板11をMOVPE装置（図示せず）の反応炉内のセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300Torr(1Torr=133.322Pa)の水素雰囲気とし、温度を約1100℃にまで昇温して基板11を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間行なう。

【0022】次に、図1(a)に示すように、反応炉を約500℃にまで降温した後、基板11上に、供給量25mmol/minのトリメチルガリウム(TMG)と、供給量が7.5L/minのアンモニア(NH₃)ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが約20nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。この時、V族原料とIII族原料の供給比は6500である。続いて、反応炉を約1000℃にまで昇温し、n型ドーパントとしてシラン(SiH₄)ガスも供給して、厚さが約4mmでSi不純物濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型GaNよりなるn型コンタクト層12を成長させる。次に、トリメチルアルミニウム(TMA)も供給しながら、厚さが約0.7mmでSi不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のn型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nよりなるn型クラッド層13を成長させる。続いて、厚さが約100nmでSi不純物濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型GaNよりなる第1の光ガイド層14を成長させた後、温度を約800℃にまで降温し、キャリアガスを水素から窒素に変更して、トリメチルインジウム(TMI)とTMGを供給して厚さが約3nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる歪量子井戸(3層)と厚さが約9nmのGaNバリア層(2層)からなる多重量子井戸活性層15を成長させる。その後、再び反応炉内の温度を約1000℃にまで昇温しキャリアガスを窒素から水素に戻して、p型ドーパントであるビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)ガスを供給しながら、厚さが約20nmでMg不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなるキャップ層16を成長させる。次に、厚さが約150nmでMg不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型GaNよりなる第2の光ガイド層17を成長させる。続いて、厚さが約0.7mmでMg不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nよりなるp型クラッド層18を成長させる。次に、厚さが約0.1mmでMg不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型GaNよりなるp型コンタクト層19を成長させる。

【0023】成長終了後、図1(b)に示すように、反応炉から基板11を取り出し、p型コンタクト層19の表面を有機洗浄およびフッ酸系のウェットエッチングでクリーニングした後、例えば、プラズマCVD法を用いて、p型コンタクト層19の上に全面にわたって厚さが約0.1mmの二酸化シリコン(SiO₂)よりなる酸化膜20を堆積させる。

【0024】次に、図1(c)に示すように、スピナーを用いて酸化膜20の上に全面にわたってレジスト膜2

1を塗布する。続いて、図1(d)に示すように、フォトリソグラフィ法を用いて、レジスト膜21にマスク幅が約2mmで約500mmピッチのストライプ状のレジストパターンを形成する。次に、図1(e)に示すように、このレジストパターンをマスクとして酸化膜20に対してフッ酸系の水溶液を用いたウェットエッチングを行なって酸化膜20を除去することにより、ストライプ状の酸化膜パターンを形成する。

【0025】続いて、図1(f)に示すように、有機洗浄により酸化膜20上のレジスト21を除去した後、前記酸化膜パターンが形成された基板11の表面をドライエッチングによってリッジ状に加工する。この際、p型クラッド層18のドライエッチング残し膜厚は約30nmとした。

【0026】次に、図1(g)に示すように、プラズマCVD法を用いて、n型電極を形成する箇所以外において、厚さが約0.1mmのSiO₂よりなる酸化膜22を堆積させる。

【0027】続いて、図1(h)に示すように、前記酸化膜パターンが形成された基板11の表面をドライエッチングによって加工し、n型コンタクト層12を露出させる。

【0028】次に、図1(i)に示すように、SiO₂よりなる酸化膜をドライエッチング側面に堆積させ、また、リッジのp型コンタクト層19上の酸化膜22をフッ酸系水溶液で選択的に除去する。

【0029】最後に、図1(j)に示すように、露出したn型コンタクト層12の上面にTi/Alよりなるn側電極23を形成する。また、p型コンタクト層19の上面にN/Auよりなるp側電極24を形成する。さらに、発光素子の共振器をへき開により形成し、その後、へき開した共振器の片端面に反射率が90%のSiO₂及び二酸化チタン(TiO₂)よりなる高反射コートを施す。また、共振器長は750nm程度とした。

【0030】第1の実施形態は、レーザ素子特性に以下に述べる大きな特徴を有している。

【0031】本実施形態により作製したレーザ素子は、多重量子井戸活性層15を挟む第1の光ガイド層14と第2の光ガイド層17との膜厚が非対称であり、第2の光ガイド層17の方が膜厚が厚い構造になっている。このため、電流注入により活性層15から発生した光の強度分布は、第2の光ガイド層17側にピークをもつ形で導波することになる。この様子を図2に示す。また、このように光強度分布のピークをp側に移行することにより、n型コンタクト層12への光の漏れを抑制することができ、しきい値電流の低減に寄与する。このような非対称光ガイド構造を有するレーザ素子に室温で直流電流を流すと連続発振に到り、しきい値電流は40mA、スロープ効率は1W/Aになった。この電流-光出力特性を図3に示す。

【0032】さらに、このレーザ素子を室温において光出力30mWの一定光出力寿命試験をおこなった。図4に結果を示すが、試験開始初期から400時間後においても動作電流は非常に安定していることがわかる。

【0033】一方、比較試料として、図1のレーザ構造において、第1の光ガイド層14および第2の光ガイド層17の膜厚をともに約100nmに設計したレーザ素子も試作した。この試作したレーザ構造の断面図を図5に示す。このレーザ素子は室温連続発振に到り、しきい値電流は45mA、スロープ効率は1W/Aであった。この電流-光出力特性を図6に示す。このレーザ素子のように、第1の光ガイド層14と第2の光ガイド層17が同じ膜厚であった場合でも、活性層15の上にあるp型AlGaInキャップ層16により、光の強度分布は活性層15よりも第1の光ガイド層14側でピークをもつ非対称光ガイド構造となる。しかしながら、図1の素子よりは活性層近傍に光強度分布のピークが存在するために注入キャリアと光の相互作用が増大するが、n型コンタクト層12に光漏れが発生するため、この試作レーザ素子のしきい値電流は5mA程度高くなっている。次に、このレーザ素子を室温においても光出力30mWの一定光出力寿命試験をおこなった。図7に結果を示すが、試験開始直後から劣化が始まり200時間後ですでに初期電流の2倍に達していることがわかる。

【0034】図4および図7の信頼性試験の結果から、GaIn系レーザの劣化にはInGaIn活性層の光密度が大きく影響しており、非対称光ガイド構造にすることによりInGaIn活性層の光密度を低減でき、InGaIn活性層の結晶性劣化を抑制することができる。このため、高出力GaIn系レーザの長寿命化には、光強度分布をp側に移行した非対称光ガイド構造が必須であることになる。

【0035】(第2の実施形態)以下、本発明の第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。本実施形態は、GaIn系レーザ素子において、GaIn系レーザ素子において、高光出力動作時に実用に耐えうる信頼性を実現することを目的とする。

【0036】以下、本発明の第2の実施形態による半導体発光装置の詳細について図面を参照しながら説明する。

【0037】図8は本実施形態に係る半導体発光装置の断面構成を示している。以下に作製工程を順に示す。まず、2インチサイズのサファイアよりなる基板51の表面を酸溶液を用いて洗浄を行なう。その後、洗浄した基板51をMOVPE装置(図示せず)の反応炉内のセプターに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300Torrの水素雰囲気とし、温度を約1100℃にまで昇温して基板51を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間行なう。

【0038】次に、反応炉を約500℃にまで降温した後、基板51上に、供給量25mmol/minのトリメチルガ

リウム(TMGe)と、供給量が7.5L/minのアンモニア(NH₃)ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが約20nmのGaInよりなる低温バッファ層を成長させる。この時、V族原料とIII族原料の供給比は6500である。続いて、反応炉を約1000℃にまで昇温し、n型ドーパントとしてシラン(SiH₄)ガスも供給して、厚さが約4nmでSi不純物濃度が約10¹⁸cm⁻³のn型GaInよりなるn型コンタクト層52を成長させる。次に、トリメチルアルミニウム(TMA)も供給しながら、厚さが約0.7nmでSi不純物濃度が5×10¹⁷cm⁻³のn型Al_{0.9}Ga_{0.1}Inよりなるn型クラッド層53を成長させる。続いて、厚さが約100nmでSi不純物濃度が約10¹⁸cm⁻³のn型Al_{0.9}Ga_{0.1}Inよりなる第1の光ガイド層54を成長させた後、温度を約800℃にまで降温し、キャリアガスを水素から窒素に変更して、トリメチルインジウム(TMI)とTMGeを供給して厚さが約3nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}Inよりなる歪量子井戸(3層)と厚さが約9nmのGaInバリア層(2層)からなる多重量子井戸活性層55を成長させる。その後、再び反応炉内の温度を約1000℃にまで昇温しキャリアガスを窒素から水素に戻して、p型ドーパントであるビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)ガスを供給しながら、厚さが約20nmでMg不純物濃度が5×10¹⁷cm⁻³のp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Inよりなるキャップ層56を成長させる。次に、厚さが約100nmでMg不純物濃度が10¹⁸cm⁻³のp型GaInよりなる第2の光ガイド層57を成長させる。続いて、厚さが約0.7nmでMg不純物濃度が5×10¹⁷cm⁻³のp型Al_{0.9}Ga_{0.1}Inよりなるp型クラッド層58を成長させる。次に、厚さが約0.1nmでMg不純物濃度が10¹⁸cm⁻³のp型GaInよりなるp型コンタクト層59を成長させる。

【0039】その後のレーザ素子構造の作製手順は前記の第1の実施形態と同様である。

【0040】第2の実施形態は、レーザ素子特性に以下に述べる大きな特徴を有している。

【0041】本実施形態により作製したレーザ素子は、多重量子井戸活性層55を挟む第1の光ガイド層54と第2の光ガイド層57との屈折率が非対称であり、第2の光ガイド層57の方が屈折率が高い構造になっている。このため、電流注入により活性層55から発生した光の強度分布は、第2の光ガイド層57側にピークをもつ形で導波することになる。この様子を図9に示す。また、このように光強度分布のピークをp側に移行することにより、n型コンタクト層52への光の漏れを抑制することができ、しきい値電流の低減に寄与する。このような非対称光ガイド構造を有するレーザ素子に室温で直流電流を流すと連続発振に到り、しきい値電流は40mA、スロープ効率は1W/Aになった。この電流-光出力特性を図10に示す。さらに、このレーザ素子を室温において光出力30mWの一定光出力寿命試験をおこなった。図11に結果を示すが、試験開始初期から400時間後

においても動作電流は非常に安定していることがわかる。

【0042】一方、比較試料として、図8のレーザ構造において、第1の光ガイド層54および第2の光ガイド層57のをともにGa_{0.9}Nとして屈折率を同じに設計したレーザ素子も試作した(図5)。このレーザ素子も室温連続発振に到り、しきい値電流は45mA、スロープ効率は1W/Aであった。この電流-光出力特性を図6に示す。このレーザ素子のように、第1の光ガイド層54と第2の光ガイド層57が同じ屈折率であった場合でも、活性層55の上にあるp型AlGa_{0.9}Nキャップ層56により、光の強度分布は活性層55よりも第1の光ガイド層54側でピークをもつ非対称光ガイド構造となる。しかしながら、図8の素子よりは活性層近傍に光強度分布のピークが存在するために注入キャリアと光の相互作用が増大するが、n型コンタクト層52に光漏れが発生するため、この試作レーザ素子のしきい値電流は5mA程度高くなっている。次に、このレーザ素子を室温においても光出力30mWの一定光出力寿命試験をおこなった。図7に結果を示すが、試験開始直後から劣化が始まり200時間後ですでに初期電流の2倍に達していることがわかる。

【0043】図7および図11の信頼性試験の結果から、Ga_{0.9}N系レーザの劣化にはInGa_{0.9}N活性層の光密度が大きく影響しており、非対称光ガイド構造にすることによりInGa_{0.9}N活性層の光密度を低減でき、InGa_{0.9}N活性層の結晶性劣化を抑制することができる。このため、高出力Ga_{0.9}N系レーザの長寿命化には、光強度分布をp側に移行した非対称光ガイド構造が必須であることになる。

【0044】(第3の実施形態)以下、本発明の第3の実施形態について図12を参照しながら説明する。本実施形態は、Ga_{0.9}N系レーザ素子において、高光出力動作時に実用に耐えうる信頼性を実現することを目的とする。

【0045】以下、本発明の第3の実施形態による半導体の製造方法の詳細について断面構造図(図12)を参照しながら説明する。

【0046】まず、2インチサイズのサファイアよりなる基板31の表面を酸溶液を用いて洗浄を行なう。その後、洗浄した基板31をMOVPE装置(図示せず)の反応炉内のサセプターに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300Torrの水素雰囲気とし、温度を約1100℃にまで昇温して基板31を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間行なう。

【0047】次に、反応炉を約500℃にまで降温した後、基板31上に、供給量25mmol/minのトリメチルガリウム(TMG)と、供給量が7.5L/minのアンモニア(NH₃)ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが約20nmのGa_{0.9}Nよりなる低温バッファ層を成長させる。この時、V族原料とIII族原料の供給比は6500である。続いて、反応炉を約1000℃にまで昇温し、n型ドーパントとしてシラン(SiH₄)ガ

スも供給して、厚さが約4nmでSi不純物濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型Ga_{0.9}Nよりなるn型コンタクト層32を成長させる。次に、トリメチルアルミニウム(TMA)も供給しながら、厚さが約0.7nmでSi不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のn型Al_{0.9}Ga_{0.1}Nよりなるn型クラッド層33を成長させる。続いて、厚さが約100nmでSi不純物濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型Ga_{0.9}Nよりなる第1の光ガイド層34を成長させた後、温度を約800℃にまで降温し、キャリアガスを水素から窒素に変更して、トリメチルインジウム(TMI)とTMGを供給して厚さが約3nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる歪量子井戸(3層)と厚さが約9nmのGa_{0.9}Nバリア層(2層)からなる多重量子井戸活性層35を成長させる。その後、再び反応炉内の温度を約1000℃にまで昇温しキャリアガスを窒素から水素に戻して、p型ドーパントであるビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)ガスを供給しながら、厚さが約20nmでMg不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなるキャップ層36を成長させる。次に、再び温度を約820℃にまで降温し、キャリアガスを水素から窒素に変更して、TMIとTMGを供給して厚さが約3nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる歪量子井戸(10層)と厚さが約7nmのGa_{0.9}Nバリア層(10層)からなる超格子光ガイド層37を成長させる。その後、再び反応炉内の温度を約1000℃にまで昇温しキャリアガスを窒素から水素に戻して、Cp₂Mgを供給しながら厚さが約700nmでMg不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp型Al_{0.9}Ga_{0.1}Nよりなるp型クラッド層38を成長させる。次に、厚さが約0.1mmでMg不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型Ga_{0.9}Nよりなるp型コンタクト層39を成長させる。

【0048】その後のレーザ素子構造の作製手順は前記の第1の実施形態と同様である。

【0049】第3の実施形態は、レーザ素子特性に以下に述べる大きな特徴を有している。

【0050】本実施形態により作製したレーザ素子は、多重量子井戸活性層35を挟む第1の光ガイド層34と第2の光ガイド層37との屈折率が非対称であり、第2の光ガイド層37の方が屈折率が高い構造になっている。また、第2の光ガイド層37を温度を低下させて成長させることにより、活性層35が高温にさらされる時間が短くなり、相分離等の結晶性悪化が抑制される利点がある。また、第2の光ガイド層37を超格子構造とする理由は、InGa_{0.9}Nのバルク構造ではピットが発生し光導波の散乱やMgの異常拡散が起こり、しきい値電流が増加するためである。

【0051】この構造(図12)を有するレーザにおいて、電流注入により活性層35から発生した光の強度分布は、第2の光ガイド層37側にピークをもつ形で導波することになる。この様子を図13に示す。また、このように光強度分布のピークをp側に移行することにより、n型コンタクト層32への光の漏れを抑制すること

ができ、しきい値電流の低減に寄与する。このような非対称光ガイド構造を有するレーザ素子に室温で直流電流を流すと連続発振に到り、しきい値電流は40mA、スロープ効率は1W/Aになった。この電流—光出力特性を図14に示す。さらに、このレーザ素子を室温において光出力30mWの一定光出力寿命試験をおこなった。図15に結果を示すが、試験開始初期から400時間後においても動作電流は非常に安定していることがわかる。

【0052】一方、比較試料として、図12のレーザ構造において、第1の光ガイド層34および第2の光ガイド層37のをともにGa_{0.9}N_{0.1}として屈折率を同じに設計したレーザ素子も試作した(図5)。このレーザ素子も室温連続発振に到り、しきい値電流は45mA、スロープ効率は1W/Aであった。この電流—光出力特性を図6に示す。このレーザ素子のように、第1の光ガイド層24と第2の光ガイド層27が同じ屈折率であった場合でも、活性層35の上にあるp型AlGa_{0.9}N_{0.1}キャップ層36により、光の強度分布は活性層35よりも第1の光ガイド層34側でピークをもつ非対称光ガイド構造となる。しかしながら、図12の素子よりは活性層近傍に光強度分布のピークが存在するために注入キャリアと光の相互作用が増大するが、n型コンタクト層32に光漏れが発生するため、この試作レーザ素子のしきい値電流は5mA程度高くなっている。次に、このレーザ素子を室温においても光出力30mWの一定光出力寿命試験をおこなった。図7に結果を示すが、試験開始直後から劣化が始まり200時間後ですでに初期電流の2倍に達していることがわかる。

【0053】図7および図15の信頼性試験の結果から、Ga_{0.9}N_{0.1}系レーザの劣化にはInGa_{0.9}N_{0.1}活性層の光密度が大きく影響しており、非対称光ガイド構造にすることによりInGa_{0.9}N_{0.1}活性層の光密度を低減でき、InGa_{0.9}N_{0.1}活性層の結晶性劣化を抑制することができる。このため、高出力Ga_{0.9}N_{0.1}系レーザの長寿命化には、光強度分布をp側に移行した非対称光ガイド構造が必須であることになる。

【0054】

【発明の効果】本発明に係る第1の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、活性層の位置と光強度分布が最大となる位置が異なることを特徴とする。

【0055】第1の半導体発光装置によると、光強度分布の最大位置が活性層からはずれるため、活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0056】第2の半導体の製造方法によると、光ガイド層の膜厚が互いに異なることにより、光強度分布の最大位置が活性層からはずれるため、活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0057】本発明に係る第3の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層の膜厚が他方の光ガイド層よりも厚いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方

の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0058】第4の半導体発光装置によると、光ガイド層の屈折率が互いに異なることにより、光強度分布の最大位置が活性層からはずれるため、活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0059】本発明に係る第5の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層の屈折率が他方の光ガイド層よりも高いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0060】第6の半導体発光装置によると、前記第5の半導体発光装置において、半導体発光装置を積層する基板に近い方の光ガイド層が少なくともAl原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、他方の光ガイド層よりも屈折率が低いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0061】本発明に係る第7の半導体発光装置によると、前記第5の半導体発光装置において、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、他方の光ガイド層よりも屈折率が高いために、光強度分布の最大位置が基板から離れた方の光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0062】第8の半導体発光装置は、前記の目的を達成し、前記第7の半導体製造方法において、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、且つそのIn組成が活性層に含まれるIn組成よりも少ないことを特徴とする。この場合、活性層から放射されたレーザ光は前記光ガイド層で吸収されることなく、光強度分布の最大位置が前記光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【0063】本発明に係る第9の半導体発光装置によると、前記第7および第8の半導体発光装置において、半導体発光装置を積層する基板から離れた方の光ガイド層が少なくともIn原子を含む窒化物系III-V族化合物半導体で構成されており、且つInGa_{0.9}N_{0.1}薄膜とGa_{0.9}N_{0.1}薄膜の超格子構造となっていることを特徴とする。この場合、前記光ガイド層でピット発生による光導波の散乱やMgの異常拡散が抑制され、しきい値電流の増加が抑制される。また、光強度分布の最大位置が前記光ガイド層に移行し、基板側への光漏れを抑制でき且つ活性層の光学的劣化を抑制することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る半導体発光装置の製造方法を示す工程順の構成断面図

【図2】本発明の第1の実施形態に係る半導体発光装置の活性層付近の屈折率分布と光強度分布を示す図

【図3】本発明の第1の実施形態に係る半導体発光装置の電流－光出力特性を示す図

【図4】本発明の第1の実施形態に係る半導体発光装置の一定光出力寿命試験結果を示す図

【図5】従来の半導体発光装置の活性層付近の屈折率分布と光強度分布を示す図

【図6】従来の半導体発光装置の電流－光出力特性を示す図

【図7】従来の半導体発光装置の一定光出力寿命試験結果を示す図

【図8】本発明の第2の実施形態に係る半導体発光装置の構成断面図

【図9】本発明の第2の実施形態に係る半導体発光装置の活性層付近の屈折率分布と光強度分布を示す図

【図10】本発明の第2の実施形態に係る半導体発光装置の電流－光出力特性を示す図

【図11】本発明の第2の実施形態に係る半導体発光装置の一定光出力寿命試験結果を示す図

【図12】本発明の第3の実施形態に係る半導体発光装置の構成断面図

【図13】本発明の第3の実施形態に係る半導体発光装置の活性層付近の屈折率分布と光強度分布を示す図

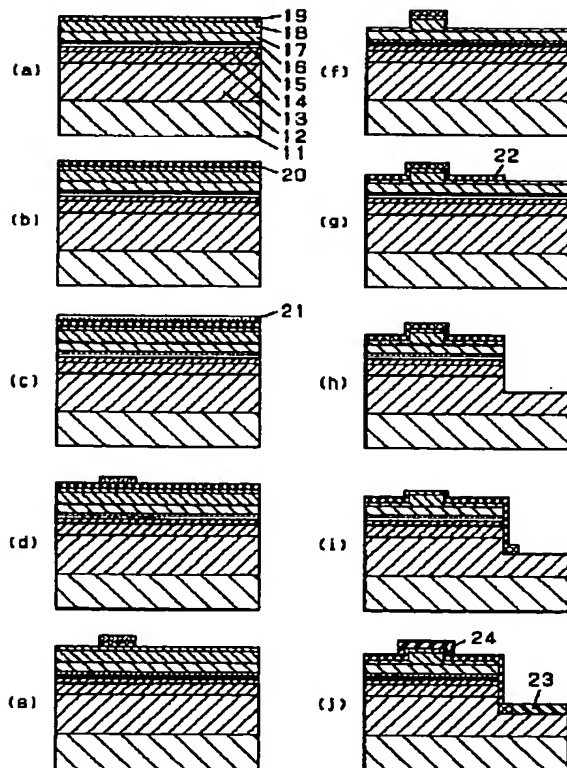
【図14】本発明の第3の実施形態に係る半導体発光装置の電流－光出力特性を示す図

【図15】本発明の第3の実施形態に係る半導体発光装置の一定光出力寿命試験結果を示す図

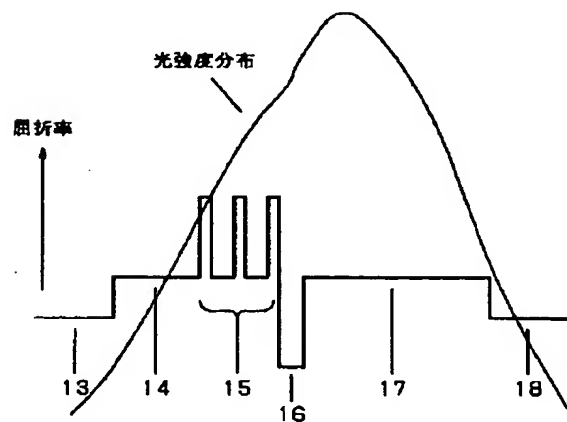
【符号の説明】

- 11 サファイア基板
- 12 n型GaNコンタクト層
- 13 n型AlGaInクラッド層
- 14 n型GaIn光ガイド層
- 15 InGaIn/GaN多重量子井戸活性層
- 16 p型AlGaInキャップ層
- 17 p型GaIn光ガイド層
- 18 p型AlGaIn第1クラッド層
- 19 p型AlGaInエッチング停止層
- 20 p型AlGaIn第2クラッド層
- 21 p型GaInコンタクト層
- 22 SiO₂酸化膜
- 23 レジスト膜
- 24 SiO₂酸化膜
- 25 レジスト膜
- 26 n側電極
- 27 p側電極

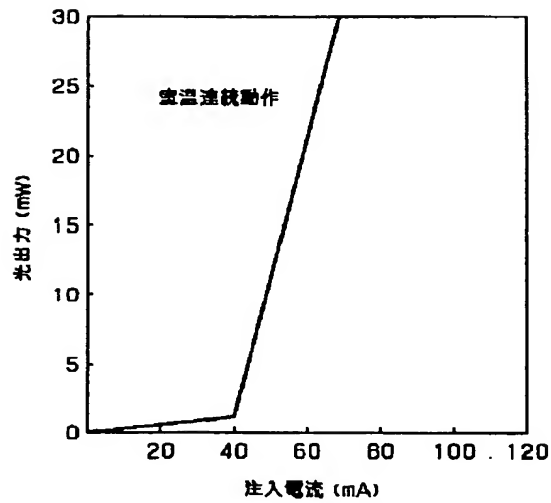
【図1】



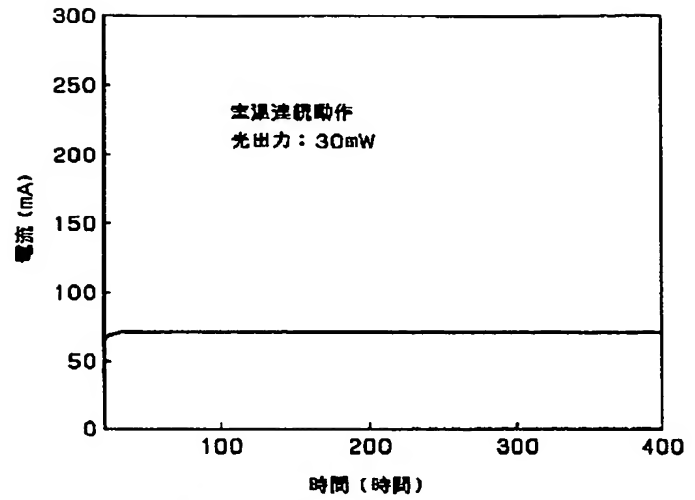
【図2】



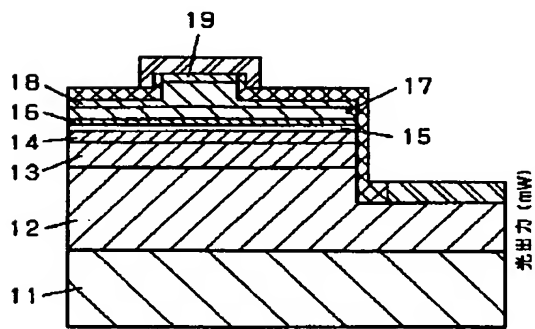
【図3】



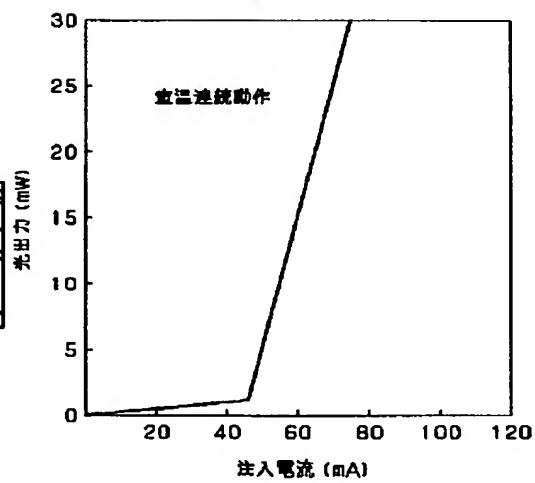
【図4】



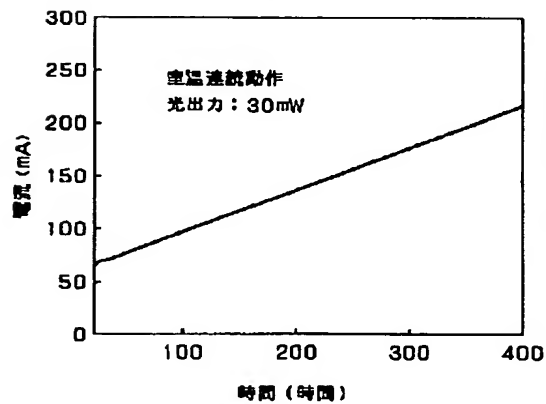
【図5】



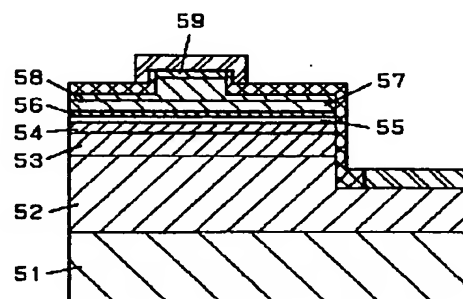
【図6】



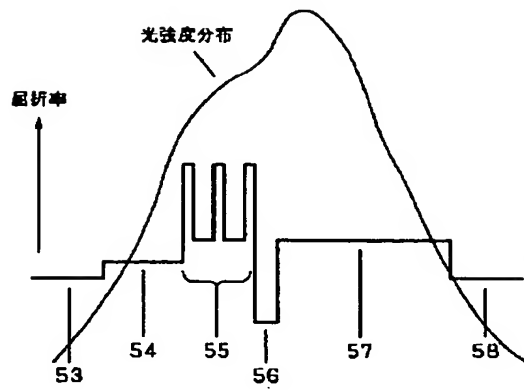
【図7】



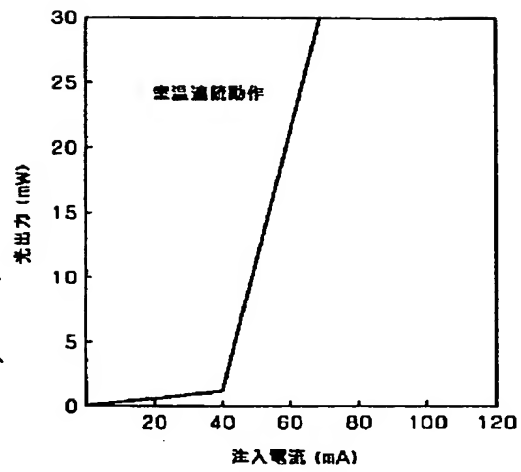
【図8】



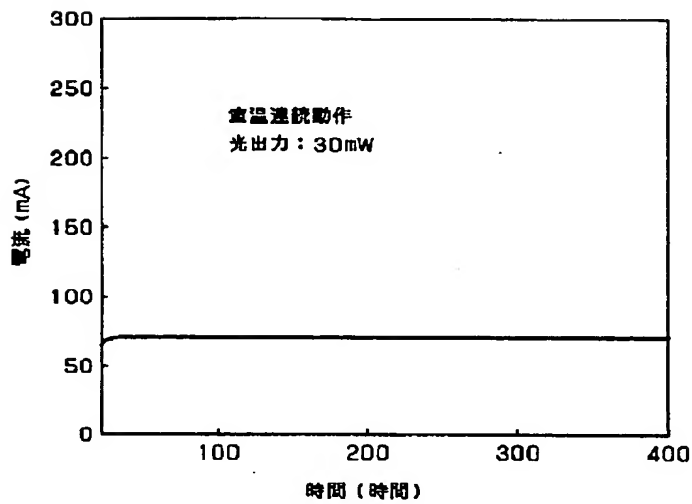
【図9】



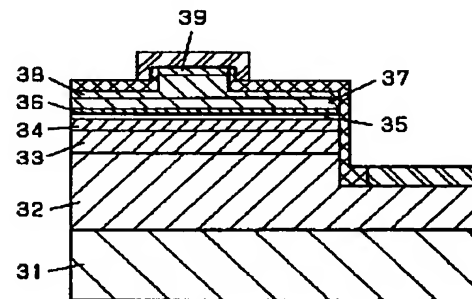
【図10】



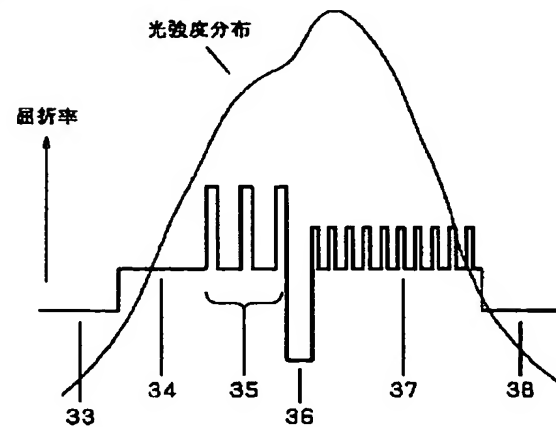
【図11】



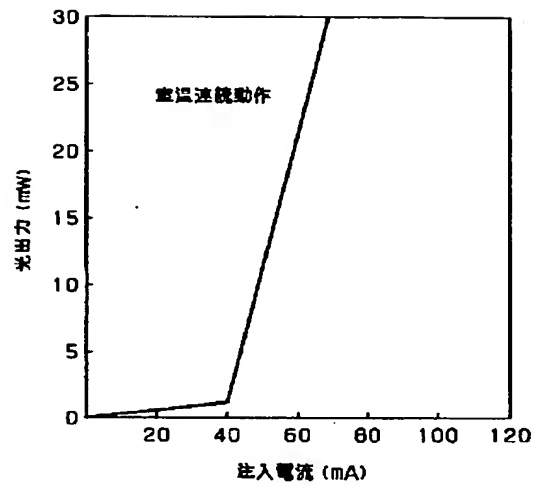
【図12】



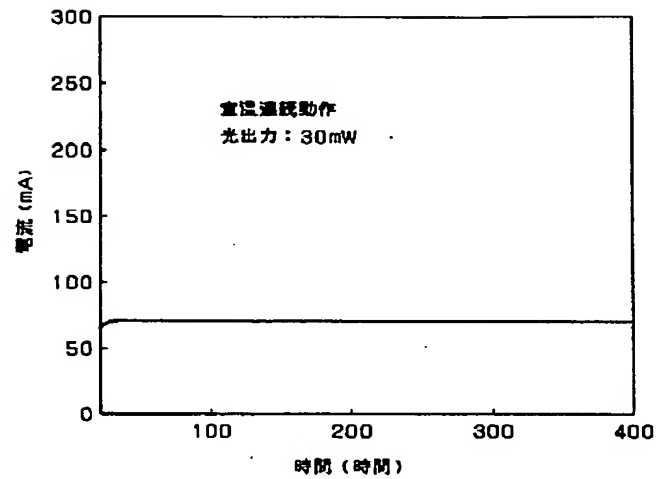
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC12
 AD09 AD14 AF09 BB04 BB16
 CA12 DA53 DA55 DA64
 5F073 AA04 AA74 AA83 CA07 CB05
 CB10 CB22 DA05 DA32 EA24
 EA28